

---

Bachelorarbeit Medientechnologie

# Effizientes und realistisches Partikelsystem zur Simulation von Feuer und Rauch in VR- Umgebung

vorgelegt von

**Miro Steiger**

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Arnulph Fuhrmann (Technische Hochschule Köln)

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Stefan Michael Grünvogel (Technische Hochschule Köln)

Köln, TT.MM.JJJJ

Fakultät für  
Informations-, Medien-  
und Elektrotechnik

**Technology**  
**Arts Sciences**  
**TH Köln**

# Bachelorarbeit

**Titel:** Effizientes und realistisches Partikelsystem zur Simulation von Feuer und Rauch in VR-Umgebung

**Gutachter:**

- Prof. Dr. Arnulph Fuhrmann (TH Köln)
- Prof. Dr. rer. nat. Stefan Michael Grünvogel (TH Köln)

**Zusammenfassung:** Der Einsatz von Virtual Reality findet in immer mehr Bereichen seinen Nutzen. Die Technik wird stetig verbessert und es gibt keine überzeugendere Möglichkeit um den Nutzer in eine andere Realität zu versetzen. Im Bereich der Brandbekämpfung könnte die Technik eine sichere und kostengünstigere Alternative zu bestehenden Trainingsmethoden sein. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein effizientes Partikelsystem in der Game-Engine Unity entwickelt, welches eine realistische Darstellung von Feuer und Rauch in VR ermöglicht.

**Stichwörter:** Virtual Reality, Partikelsystem, Volumen Rendering, Parallax Mapping, Echtzeitrendering

**Datum:**

# Bachelors Thesis

**Title:** Efficient and realistic particle system to render fire and smoke in VR

**Reviewers:**

- Prof. Dr. Arnulph Fuhrmann (TH Köln)
- Prof. Dr. rer. nat. Stefan Michael Grünvogel (TH Köln)

**Abstract:** Virtual reality is being used in more and more areas. The technology is constantly being improved and there is no more convincing way to put the user into another reality. In the field of firefighting, the technique could be a safer and cheaper alternative to existing training methods. As part of this work, an efficient particle system is developed in the game engine unity, which creates a realistic representation of fire and smoke in VR.

**Keywords:** Virtual Reality, Particlesystem, Volume Rendering, Parallax Mapping, Real Time Rendering

**Date:**

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problem . . . . .	1
1.2	Zielsetzung . . . . .	1
1.3	Struktur der Arbeit . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
3.1	Virtual Reality . . . . .	4
3.1.1	Konzept . . . . .	4
3.1.2	Head-Mounted-Display . . . . .	4
3.2	Feuer und Rauch . . . . .	5
3.3	Partikelsysteme . . . . .	5
3.3.1	Billboards . . . . .	5
3.4	Abbildungsverfahren . . . . .	5
3.4.1	Normal Mapping . . . . .	5
3.4.2	Bump Mapping . . . . .	5
3.4.3	Parallax Mapping . . . . .	5
3.5	Volume Rendering . . . . .	5
3.5.1	Ray-Marching . . . . .	5
3.5.2	Texturbasierte Volumen . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Umsetzung</b>	<b>6</b>
4.1	Erstellung der Texturen . . . . .	6
4.2	Unity (?) . . . . .	6
4.3	Partikelsystem . . . . .	6
4.4	Shader . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>7</b>
5.1	Zusammenfassung . . . . .	7
5.2	Limitationen . . . . .	7
5.3	Ausblick . . . . .	7
	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>9</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Die Simulation von Feuer und Rauch ist ein viel diskutiertes Thema in der Computergrafik. Einerseits spielen diese besonders in Videospielen und Filmproduktionen eine außerordentlich große Rolle. Auf der anderen Seite helfen solche Simulationen auch im Bereich der Gefahrenbekämpfung und -vorbeugung. So kann eine realistische Feuersimulation dazu beitragen, einen Trainingssimulator für die Feuerwehr zu entwerfen [Schlager, 2017]. Der Nutzer kann dabei mithilfe von Head-Mounted-Displays in ein virtuelles Brandszenario versetzt werden, ohne dabei wirklichen Gefahren ausgesetzt zu sein. Eine solche Anwendung findet seinen Nutzen sowohl im Training von Einsatzkräften, als auch bereits bei der Entscheidung einem solchen Beruf nachzugehen. Hierbei gibt es verschiedenste Ansätze um ein künstliches erzeugtes Feuer auf einem Bildschirm anzeigen zu lassen. Eine gängige Methode für das Rendering von Gasen und Flüssigkeiten in Videospielen, in denen sich auch Feuer und Rauch aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften wiederfinden, sind der Einsatz von Partikelsystemen. Die physikalisch korrekte Simulation kann dabei, unter anderem mithilfe von Fluidsimulationen, sehr realitätsnah dargestellt werden. Auf realen physikalischen Eigenschaften basierende Simulationen sind jedoch sehr aufwändig in der Berechnung und bisher kaum für die Echtzeitanwendung gedacht. Gerade in Virtual-Reality-Systemen, in denen die Performance extrem wichtig für das Nutzererlebnis sind, eignet sich die aufwändige Simulation von Fluiden aufgrund ihrer Performance nicht. Als Alternative haben sich hierfür eine Art von Partikelsystemen etabliert, welche sich anstatt der physikalisch korrekten Eigenschaften eher an einer optischen Illusion mithilfe animierter Texturen bedienen. Hierbei ist das Konzept des "Billboardings" ein weit verbreiteter und beliebter Ansatz, um realistischere Renderings der Partikel zu erzeugen. Diese bieten eine optisch überzeugende und dabei noch hocheffiziente Lösung.

## 1.1 Problem

Ein solches Partikelsystem, basierend auf Texturen, kann auf einem flachen Bildschirm realistisch und optisch überzeugend aussehen. In einer VR-Umgebung gerät diese Methode jedoch leider an seine Grenzen. Die Illusion basiert auf der Eigenschaft, dass die flachen Partikel immer zum Nutzer, also der Kamera ausgerichtet sind. Dadurch lässt sich nicht erkennen, dass lediglich flache Texturen zum Einsatz kommen. Die Partikel sehen voluminös aus und täuschen Tiefe vor. In VR-Anwendungen müssen jedoch immer zwei Bilder erzeugt werden, eins für jedes Auge. Dadurch, dass sich die flachen Billboards immer zur jeweiligen Kamera, bzw. zum Mittelpunkt zwischen beiden Augen orientieren, zerstört dies die Illusion und es lässt sich erkennen, dass die Partikel ihre Tiefe lediglich vortäuschen. So sieht ein Feuer-Partikelsystem, basierend auf Texturen, schnell sehr unecht aus und die Immersion ist gestört. Um in einem Trainingsszenario der Feuerwehr jedoch einen wirklichen Nutzen zu finden, sollte das Feuer so realistisch wie möglich aussehen. Erst dann wird der Nutzer in eine echte Stresssituation versetzt und kann sich somit besser auf einen Einsatz in der realen Welt vorbereiten.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Partikelsystem zu entwickeln, welches alle Vorteile der Billboard-Technik nutzen kann, um auch in Virtual Reality-Umgebung ein realistisches Bild von Feuer und

Rauch erzeugen zu können. Durch eine bessere, plausible Darstellung in der Stereo-Ansicht kann beim Nutzer ein realeres Gefühl von Gefahr hervorgerufen werden, welches den Trainingseffekt deutlich erhöhen kann. Dabei soll ein solches Partikelsystem in Unity entworfen werden, welches sowohl in der Stereoansicht funktioniert, als auch in Hinblick auf die benötigte Performance für VR-Renderings die Mindest-Framerate einhalten kann. Hierzu muss ein Shader für die Billboard-Partikel entworfen werden, welcher beide Augen berücksichtigt. Aufgrund der verschiedenen visuellen Eigenschaften und des Verhaltens von Feuer und Rauch müssen jeweils eigene Systeme konzipiert werden.

### **1.3 Struktur der Arbeit**

## 2 Stand der Technik

Die Idee eines Einsatztrainings für die Brandbekämpfung in Virtual Reality ist nicht neu. Es gibt mit 'Serious Games' sogar eine eigene Kategorie, bei der es sich um Videospiele handelt, bei denen der Bildungsaspekt im Vordergrund steht. Es gibt dabei auch bei der Brandbekämpfung bereits einige Anwendungen, welche versuchen, sich die Möglichkeiten von VR zunutze zu machen. Das Ziel der Anwendungen ist dabei oft das selbe. Sowohl um die Einsatzkräfte in realistischen Szenarios zu trainieren, ohne dabei die physische Gesundheit der Personen aufs Spiel zu setzen, als auch die Umwelt und die finanziellen Mittel zu schonen.

[Schlager, 2017] entwickelte bereits einen interaktiven Trainingssimulator für die Anwendung eines Feuerlöschers. Der Nutzer muss für die gegebenen Situationen aus verschiedenen Löschmitteln das jeweils am besten geeignete Mittel auswählen und den Brand löschen. Die Feuersimulation in dieser Anwendung basiert auf einem Voxelgrids und Billboard-Partikelsystemen. In Hinblick auf die Performance kam Schlager zu dem Fazit, dass man einen Kompromiss zwischen realistischem Rendering und realitätsnahem Verhalten des Feuers finden muss.

Die physikalisch korrekte Simulation von Feuer auf molekularem Level ist nach heutigem Stand aufgrund der Komplexität der Reaktionen nur sehr begrenzt und in Echtzeitanwendungen nahezu gar nicht möglich. Feuer wird in der Computergrafik daher mit einigen Tricks annähernd realistisch dargestellt.

## 3 Grundlagen

### 3.1 Virtual Reality

#### 3.1.1 Konzept

Hinter dem Begriff Virtual Reality (VR) verbirgt sich das Konzept einer künstlichen, von Computern generierte Welt. Der Nutzer kann in diese Welt eintauchen und hat dabei die Möglichkeit sich als Betrachter in dieser Welt umzuschauen oder sogar mit dieser Welt zu interagieren. Dabei gibt es verschiedene Arten von VR. Zum einen die "Non-immersive Virtual Reality". Hierbei steuert der Nutzer seine virtuelle Umgebung, ist sich dabei aber noch bewusst in welcher Welt er sich tatsächlich befindet. Die Interaktion geschieht üblicherweise durch Eingabegeräte wie Controller, Maus oder Tastatur. Ein weit verbreitetes Anwendungsgebiet sind dabei herkömmliche Videospiele. Gegenüberstehend gibt es dagegen die "Fully Immersive Virtual Reality". Hierbei wird der Nutzer durch spezielle Hardware, zum Beispiel mithilfe eines Head-Mounted-Displays (HMD), in eine virtuelle dreidimensionale Umgebung versetzt. Durch visuelles, auditives und teilweise auch haptisches Feedback kann der Nutzer dabei immer weiter in die virtuelle Welt eintauchen. Auch hier verfügt der Nutzer über Eingabegeräte wie dem Headset, Controllern oder Laufbändern. Diese sind jedoch in der Benutzung näher an der bekannten Realität. So kann sich der Nutzer z.B. mit einer Kopfbewegung in der virtuellen Welt umsehen oder Dinge anfassen und mit diesen interagieren. Dieser Einfluss auf die Umgebung sorgt dafür, dass sich eine Simulation echt anfühlen kann.

#### 3.1.2 Head-Mounted-Display

Die Idee von Fully Immersive Virtual Realities baut darauf auf, die Sinne des Nutzers so überzeugend zu täuschen, sodass dieser glaubt, er befinde sich in einer anderen Welt. Die nächste Stufe nach Immersion ist die Präsenz. Präsenz beschreibt hierbei das Gefühl, bzw. die Illusion, dass sich der Nutzer tatsächlich physisch in dieser computergenerierten Welt befindet. [Doerner et al., 2022]

Der Mensch ist ein visuell orientiertes Lebewesen. Daher ist der Einsatz einer VR-Brille der wichtigste Faktor um eine solche Illusion zu erzeugen. Der Eindruck von Raum und Tiefe wird dabei vom Gehirn erzeugt. Die Information dazu kommen von den beiden Augen. Die Tiefe wird mithilfe binokularer Disparität erzeugt. Dieser Begriff bezeichnet grob gesagt den kleinen, aber bedeutenden Unterschied zwischen den beiden einzelnen Bildern, welche von den Augen erzeugt werden. Daraus kann das Gehirn abschätzen, wie weit ein Objekt entfernt ist. [Tauer, 2010]

Der Einsatz einer VR-Brille bringt einige technische Anforderungen mit sich, welche sich deutlich von denen eines herkömmlichen Monitors unterscheiden. Der Grund, warum diese Brillen funktionieren und eine so überzeugende Wahrnehmung der 3D-Welt um sich herum. Eine solche Brille basiert auf zwei Displays, welche sich direkt vor den Augen des Nutzers befinden. **GRAFIK VON STEREOVIEW**

## 3.2 Feuer und Rauch

## 3.3 Partikelsysteme

### 3.3.1 Billboards

## 3.4 Abbildungsverfahren

### 3.4.1 Normal Mapping

### 3.4.2 Bump Mapping

### 3.4.3 Parallax Mapping

## 3.5 Volume Rendering

### 3.5.1 Ray-Marching

### 3.5.2 Texturbasierte Volumen



## 4 Umsetzung

### 4.1 Erstellung der Texturen

### 4.2 Unity (?)

### 4.3 Partikelsystem

### 4.4 Shader

## **5 Ergebnisse**

Hier kommt das Ergebnis meiner Forschung rein

### **5.1 Zusammenfassung**

### **5.2 Limitationen**

### **5.3 Ausblick**

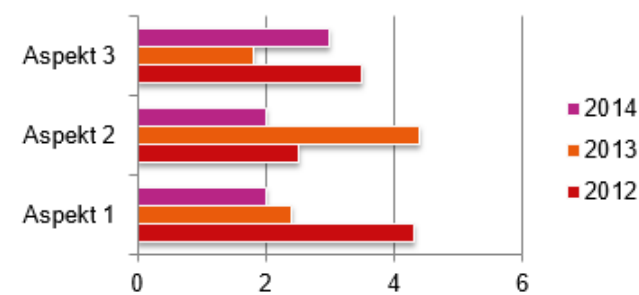


Abbildung 1 Entwicklung seit 2006

Überschrift 1	Überschrift 2	Überschrift 3
ABC	123	456
DEF	414	63

Tabelle 1 Mustertabelle

In dieser Vorlage sind Tabellen und Abbildungen fortlaufend nummeriert. Auf jede Abbildung und jede Tabelle muss im Text verwiesen werden. [Kufner, 2017] Hallo wie gehts

## Literatur

- Doerner, R., W. Broll, P. Grimm und B. Jung, Hrsg. (2022). *Virtual and Augmented Reality (VR/AR): Foundations and Methods of Extended Realities (XR)*. Springer International Publishing, S. 39–70. ISBN: 9783030790622. URL: <https://books.google.de/books?id=hwdZEAAAQBAJ>.
- Kufner, Robert (2017). „Quasi volumetrisches Rendering einer gridbasierten 2D Smokesimulation unter Nutzung von Z-buffer und Parallax Mapping“. Masterarb. Institut für Informatik. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Schlager, Bettina (2017). „Building a Virtual Reality Fire Training with Unity and HTC Vive“. In: *Proceedings of Central European Seminar on Computer Graphics for students (CESCG 2017)*. URL: <https://www.vrvis.at/publications/PB-VRVis-2017-008>.
- Tauer, H. (2010). *Stereo-3D: Grundlagen, Technik und Bildgestaltung*. Fachverlag Schiele & Schoen, S. 20–39. ISBN: 9783794907915. URL: <https://books.google.de/books?id=mfJ4HjD6CwEC>.

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorgelegte Abschlussarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

---

Ort, Datum

---

Rechtsverbindliche Unterschrift

TH Köln  
Gustav-Heinemann-Ufer 54  
50968 Köln  
[www.th-koeln.de](http://www.th-koeln.de)